

**WIND MILL POWER GENERATING SYSTEM**

Patent Number: JP2002152975  
Publication date: 2002-05-24  
Inventor(s): KAWABATA OSAMU;; TAKUHARA MASAHIITO  
Applicant(s): MITSUBISHI HEAVY IND LTD  
Requested Patent: JP2002152975  
Application Number: JP20000342804 20001110  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H02J3/38; F03D7/04; F03D9/00; H02P9/00  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a wind mill power generating system, capable of suppressing output fluctuations which are caused by the change of wind conditions.

**SOLUTION:** This system includes a wind mill generator; an electric power system side generator; a Doppler radar 3, that measures wind vector at a given measuring point at a first time; a data processing part 5, that forecasts an output value of the wind mill generator at a second time based on the wind vector measured by the Doppler radar 3 at the measuring point at the first time; and a control device that controls an output of the electric power system side generator at the second time based on its second-time forecast output value received from the data processing part 5.

---

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-152975

(P2002-152975A)

(43) 公開日 平成14年5月24日 (2002.5.24)

(51)IntCl <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト <sup>7</sup> (参考)		
H 0 2 J	3/38	H 0 2 J	3/38	E	3 H 0 7 8
F 0 3 D	7/04	F 0 3 D	7/04	Z	5 G 0 6 6
	9/00		9/00	B	5 H 5 9 0
H 0 2 P	9/00	H 0 2 P	9/00	F	

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-342804 (P2000-342804)

(22) 出願日 平成12年11月10日 (2000.11.10)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 川畑 理

愛知県名古屋市中村区岩塚町字高道1番地

三菱重工業株式会社産業機器事業部内

(72) 発明者 宅原 雅人

兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1

号 三菱重工業株式会社神戸造船所内

(74) 代理人 100099623

弁理士 奥山 尚一 (外2名)

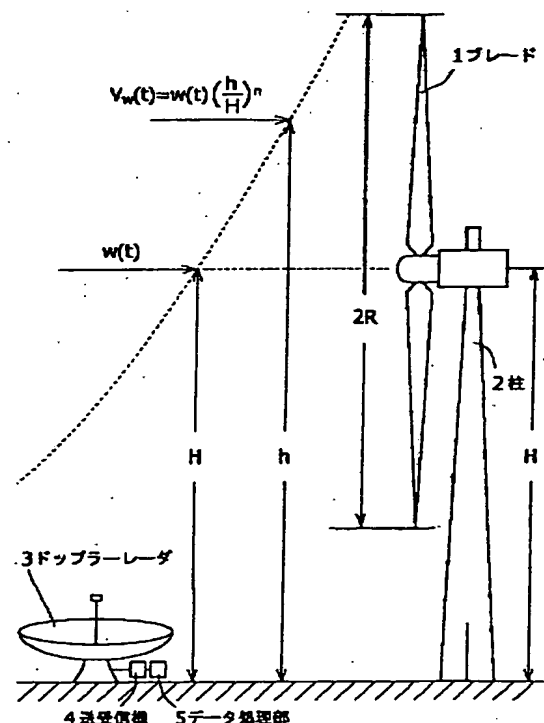
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 風車発電システム

(57) 【要約】

【課題】 風状態の変動から生じる風車発電システムでの出力変動を抑制することが目的である。

【解決手段】 風力発電機と、電力系統側発電機と、第1の時刻での所定の測定点における風ベクトルを測定するドップラーレーダ3と、該ドップラーレーダ3によって測定された第1の時刻での該測定点における風ベクトルに基づいて、第2の時刻での該風車発電機の出力値を予測するデータ処理部5と、該データ処理部5から受けた第2の時刻での該風車発電機の出力予測値に基づいて、第2の時刻での電力系統側発電機の出力を制御する制御部とを含む風車発電システムを提供する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 風力発電機と、  
電力系統側発電機と、

第1の時刻での所定の測定点における風ベクトルを測定するドップラーレーダと、

該ドップラーレーダによって測定された第1の時刻での該測定点における風ベクトルに基づいて、第2の時刻での該風車発電機の出力値を予測するデータ処理部と、  
該データ処理部から受けた第2の時刻での該風車発電機の出力予測値に基づいて、第2の時刻での電力系統側発電機の出力を制御する制御部とを含む風車発電システム。

【請求項2】 前記測定点が前記風車よりも50～10メートル離れた風上にあることを特徴とする請求項1に記載の風車発電システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、風車発電システムに関し、特に出力変動抑制装置を有する風車発電システムに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】風車発電は実用性の高い自然エネルギー発電であるが、風エネルギーの変動により生じる大きな発電出力変動の抑制が課題である。風がなければ出力がゼロになる風車発電は単独運転では難しく、火力や原子力による電力系統と連系されて使われる。従って、風車発電の出力変動が電力系統全体を大きく揺さぶり、その安定性を害する。一般に、風車発電の出力は風速の3乗に比例するため、この変動は大きい。このような変動により、特に電力系統容量の小さい離島などでは電力系統の周波数変動や電圧変動が生じるだけでなく、系統側発電機が停止するなどの問題が多数生じている。

【0003】従来技術では、出力の安定化を図り、系統側発電機への影響を押さえる目的で、風車発電機にインバータ装置を追加した可変速風車が開発され実用運転も開始されている。しかし、この可変速風車は、コンデンサの容量にもよるが0.1秒以下の短時間継続する変動は抑制できるが、それ以上の時間継続する変動の抑制には設置するのに建物が必要な大型かつ高価なバッテリー

(マイナス変動対策)と、放電抵抗(プラス変動対策)とが必要である。特に放電抵抗は系統側発電機燃料の省エネルギーの点でも問題とされている。このときの放電は700kW～1000kWの放電が必要となることが多いエネルギーの消耗である。風車発電機出力変動の電力系統側発電機に対する影響度合いは、電力系統側の発電容量の大きさに反比例する。通常、風車発電は離島や過疎地などの比較的に容量の小さい電力系統に連系されるのがほとんどであり、この出力変動の問題は風車発電の極めて大きな欠点である。0.1秒から数秒の時間の変動が総変動エネルギーも大きく、系統側発電機の出力制御

特性の限界外になることが多く、電力系統側発電機制御装置と可変速風車とを組み合わせたシステムでも出力変動を抑制しきれない。

【0004】例えば、世界的に風車発電は数万kW級の大型プラント(Wind Farm)として建設するのが有効性の点から一般的になっている。また、風車発電が大きな割合を占めている北欧では、風車発電プラントの出力の安定化に制約を加え始めている。0.1秒以下の変動は、風車台数Nの $\sqrt{N}$ に比例して低減されるので、今後増加するWind Farmでは問題が小さくなると考えられる。しかし、離島などの風車発電の出力が比較的小さくてよい電力用途などでは、風車の数が少ないため、風力エネルギーを無駄に消費してしまう可変速風車が必要である。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記問題を鑑みてなされたものであり、風状態の変動から生じる風車発電システムでの出力変動を抑制することが目的である。またこのとき、省エネルギーに逆行する放電抵抗や有限寿命のバッテリーを用いずに、出力変動を抑制することが目的である。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は上記目的を達成するために、風力発電機と、電力系統側発電機と、第1の時刻での所定の測定点における風ベクトルを測定するドップラーレーダと、該ドップラーレーダによって測定された第1の時刻での該測定点における風ベクトルに基づいて、第2の時刻での該風車発電機の出力値を予測するデータ処理部と、該データ処理部から受けた第2の時刻での該風車発電機の出力予測値に基づいて、第2の時刻での電力系統側発電機の出力を制御する制御部とを含む風車発電システムを提供する。好ましくは、前記測定点が前記風車よりも50～10メートル離れた風上にあることを特徴とすることが好ましい。

【0007】本発明において、風ベクトルとは、風の風向き、速さを含むベクトル量としての風の速度をいう。電力系統側発電機とは、風力発電機以外の発電機である。発電機とは、一般に、水力または熱機関などによって磁界内でコイルを回転する際、それを通る磁束の変化によって誘導電流である電力を生じさせる機械であるが、本発明において好適に利用できるのは比較的に応答性の高いディーゼルエンジンによって駆動される発電機である。電力系統側発電機は1台でも、同一または異なるタイプの発電機を複数台含むものであってもよい。なお、電力系統側発電機は電力会社などにある電力系統側にある。第1の時刻とは、ドップラーレーダで風ベクトルを測定した任意の時刻である。第2の時刻とは、第1の時刻で測定された風が風車に到着すると予想される時刻である。ドップラーレーダとは、電波を発射し大気から反射され返ってくるエコーにより地上から上空の風ベ

クトルを測定するレーダのことである。レーダが使用する電波（ビーム）の周波数は、VHF（50MHz）、UHF（400MHz、1GHz）が好ましいが、風ベクトルを測定できれば、これらの周波数に限らない。風力発電機3台に対してドップラーレーダを2台を設置するような、風力発電機1台に対してドップラーレーダを平均1台以下の割合で設置してもよい。好適には、風力発電機1台に対して、ドップラーレーダを平均1台以上の割合で設置することが好ましい。このように風力発電機1台に対してドップラーレーダを平均して2～3台などのように複数台設置して、風ベクトルの測定の高精度化を行っても良い。また、ドップラーレーダは、地上に設置してもよく、風車の上に設置してもよく、別途にポールを建てて設置してもよい。

【0008】ドップラーレーダとデータ処理部とは、電気配線または無線などのデータのやり取りができる接続手段によってつながっている。同様に、データ処理部は電力系統側発電器と電気配線または無線などのデータのやり取りができる接続手段によってつながっている。また、測定点の位置は前記風車より約50～10メートル、好ましくは40～15メートル、最も好ましくは20メートル離れた風上である。風力発電機の効率が風速20メートルくらいが最もよく、例えば風車から20メートルくらい風上の上空での測定点で風ベクトルを測定すれば、風車に届くのに1秒間かかるので、1秒間の間に電力系統側の発電機の出力を制御して、予想される風車発電機の出力変動に備えることができる。

【0009】本発明によって、第1の時刻での測定点の風ベクトルを測定し、第2の時刻での風車に届くこの風ベクトルを予測することにより、第2の時刻での風車発電機から出力される電力値を予想できるようになった。この予想された出力値にもとづき、電力系統側発電機の出力電力を制御することにより、風ベクトルの変動によって起こる風車発電システムからの出力変動を抑制することができるようになった。

【0010】

【発明の実施の形態】以下に本発明に係る風車発電の出力変動抑制装置の実施の形態について、さらに詳細に説明する。

【風力発電システム】図1に示すように本発明に係る風力発電システムの構成は、風力発電機と、電力系統側発電機と、上空のある測定点での風ベクトルを測定するドップラーレーダ3と、ドップラーデータが測定した上空のある測定点の風ベクトルに関するデータに基づいて風車が発電する出力を予測するデータ処理部5と、電力系統側発電機を制御する制御部（図示しない）とを含むシステムによって構成される。

【0011】【ドップラーレーダの風ベクトル測定原理】本発明に係るドップラーレーダの原理について、図2、図3を用いて説明する。大気の乱流に生じるレーダ

波長の2分の1程度の屈折率変動はマイクロ波を散乱する。乱流は大気の流れ（風11）とともに移動するため、乱流の動きを観測することで、風の速度（風速と同じ意味。以下、風ベクトルという）を観測することが可能である。そこで、散乱波のレーダに戻ってくるエコーを受信し、そのドップラーシフトから風ベクトルのレーダビーム方向のビーム観測成分を測定する。パルスの送信時刻と受信時刻から対象までの距離を観測可能であり、1本のレーダビームでは、任意の高さにおける3次元風ベクトルの1成分（レーダビーム方向）を観測可能である。そこで、図2（a）～（c）に示すように、方向の異なる最低3台のレーダビーム源を用い、水平方向の風の一様性を仮定することで、風ベクトルの3成分を観測することが可能となる。

【0012】さらに詳しく本発明に係るドップラーレーダによる風ベクトルの測定原理について説明する。図3（a）に示すように、レーダは送信パルス20のような短い幅のマイクロ波パルスを送信し、受信エコー21のような対象からの反射波を記録する。送信パルスを送信してから反射波を受信までの時間はレーダから対象までの距離に比例するので、反射波の受信時間から対象物までの距離を算出することができる。さらに、パルスの送信と反射波の受信を繰り返すことで、図3（a）に示す横軸の時間軸22のように、時間変化を得ることができる。図3（a）から得られた横軸の時間変化を図3

（b）に示す。図3（b）に示すような時系列データを、特定の地点について周波数分析（例えば、高速フーリエ変換 FFT: Fast Fourier Transform）を行うことで、その地点のドップラーシフトを算出できる。図3（c）のようなドップラーシフト量であるドップラー周波数 $f$ から、ドップラー周波数は風速に比例するという自然法則を用いて、その地点の風ベクトルのレーダビーム方向成分を算出することができる。また、方向の異なる最低3台のレーダビームを用い、水平方向の風の一様性を仮定することで、風ベクトルの3成分を観測することが可能となるのは、上述の通りである。また、ドップラーレーダ3の測定点は特に限定されないが、前記風車より約50メートルから約10メートル、特に20メートル離れた風上が好ましい。この理由は、風力発電機の発電効率が風速20メートルくらいが最も効率がよく、例えば風車から20メートルくらい風上の上空での測定点で風ベクトルを測定すれば、風車に届くのに1秒間かかるので、1秒程度の間に電力系統側のディーゼル発電機等の発電機を制御できるからである。なお、本発明において利用されるドップラーレーダ3は数100メートル四方、高度200メートル以下の比較的狭い空域の風測定を行えるものでよい。空港に用いられるような数10キロメートル四方、高度数キロメートルの空域を測定するような大がかりなドップラーレーダは必要でない。

【0013】【測定された風ベクトルから風力発電機の

出力を予測] 本発明に係るドップラーレーダで測定された風ベクトルから、測定一定時間後の風力発電機に吹く風ベクトルを予測することについて説明する。上空の測定点での測定時刻の風のベクトルが上記のような原理で求められるので、測定されてからのある時間後の風力発電機に吹く風ベクトルを予測できる。これらの測定された風ベクトルから風力発電機に吹く風ベクトル予測は、データ処理機で行われる。このデータ処理機は、ドップラーレーダや風力発電機の近くの屋外にあってもよいし、任意の場所の屋外や屋内にあってもよい。

【0014】次に、任意の高さでの風ベクトルを示す数式1と、風車トルク $T_w(t)$ を示す数式2と、風車の発電機トルク $T_g(t)$ を示す数式3を示す。

【数1】

$$V_w(t) = w(t) \left( \frac{h}{H} \right)^n$$

【数2】

$$T_w(t) = \frac{C_p(\lambda(t), \beta(t)) V_w^3(t) \rho A}{2\Omega(t)}$$

【数3】

$$T_g(t) = K_g \Omega(t)$$

なお、この数式中使用される文字の意味は、 $w(t)$ ：風車の中心のハブにおける風ベクトル（風速）、 $V_w(t)$ ：任意の高さでの風ベクトル（風速）、 $H$ ：風車の中心のハブまでの高さ、 $h$ ：任意の位置での高さ、 $n$ ：定数、 $T_w(t)$ ：風車トルク、 $T_g(t)$ ：発電機トルク、 $\rho$ ：空気密度、 $A$ ：風車の回転断面積、 $\Omega(t)$ ：風車の機械的角速度、 $C_p$ ：出力係数、 $1(t) = R\Omega(t)/V_w(t)$ ：風速比、 $R$ ：風車の半径、 $K_g$ ：定数である。ドップラーレーダとデータ処理機において、ある時間後の風力発電機に吹く風ベクトル（風速）を予測できるので、この数式1、数式2、数式3より、既知の各種値を代入して、風車トルク、発電機トルクが計算される。この仕事量である発電機トルクは風車発電機の出力に比例するので、風車発電機の出力値が計算される。なお、この数式1、数式2、数式3はあくまで風力発電機の出力値を計算するモデルの一例にすぎず、本発明の趣旨に合致さえしていれば、他のモデルの数式を用いてもよい。

【0015】【電力系統側発電機の制御】ドップラーレーダが上空の風ベクトル測定した時刻（以下、第1の時刻という）で、その測定された風が風力発電機に吹く時刻（以下、第2の時刻という）での、この風によって風車発電機が出力する出力値が予想される。この予想された第2の時刻での風車発電の出力値に基づいて、第2の時刻での電力系統側発電機の出力を制御する必要がある。なぜならば、風力発電機の出力値は、風によって刻々変動するため、電力系統側の発電機を制御して、風力発電機と電力系統側発電機とを含む風車発電システム全体として出力される出力の変動を抑制する必要があるか

らである。例えば、第1の時刻で測定された風が強くなり、第2の時刻での風車発電機の出力が大きくなると予想されるときは、第2の時刻での電力系統側発電機を出力を小さくする。その逆に第1の時刻で測定された風が弱くなり、第2の時刻での風車発電機の出力が小さくなると予想されるときは、第2の時刻での電力系統側発電機を出力を大きくする。以上の制御をすることにより、風力発電機と電力系統側発電機とを含む風力発電システムからの出力の変動を抑制できる。

10 【0016】【実施例：風車発電の出力変動抑制装置】

次に、本発明に係る風車発電の出力変動抑制装置の実施例を説明する。図1は、本発明に係る実施例のひとつである風車発電の出力変動抑制装置の構成図であり、ドップラー効果を利用して風ベクトルを測定するドップラーレーダ3と、ドップラーレーダによって測定された風ベクトルに基づいて、ある時間後の風力発電機の出力を予測するデータ処理部5と、この予測された風力発電機の出力に基づいて、電力系統側発電機の出力を制御する制御部（図示しない）とを含む風車発電の出力変動抑制装置が示されている。また、定格出力500kW、柱2で支えられているハブの高さ38m（H）、ブレード1の長さ19m（2R）を含む風力発電機が図示されている。

【0017】第1の時刻で、ドップラーレーダの出す電波（ビーム）によって、上空のある測定点での風ベクトルを測定する。この測定点は、ドップラーレーダ3の測定点は本発明の趣旨であれば限定されないが、前記風車より約20メートル離れた風上が好ましい。データ処理部5において、この測定された第1の時刻でのある測定点における風ベクトルに基づいて、第1時刻からある時間経過後の第2の時刻での風力発電機に吹く風の風ベクトルを予測する。またデータ処理部5において、予測された第2の時刻での風ベクトルによってブレード1が回転して起こる風力発電用発電機の出力を数式1、数式2のようなモデルによって予測する。この予測された第2の時刻での風力発電機の電力予測値に基づいて制御部は、第2の時刻での電力系統側発電機の出力を制御する。このとき、データ処理部が制御部と物理的に離れているときは、データ処理部から制御部に予測された風車の出力データを無線などで送信する送受信機4があってもよいし、出力データを電気通信回線で伝送してもよい。または、風力発電機の出力データを電力会社へ送信するだけで、電力会社などが電力系統側発電機を制御してもよい。この電力系統側の発電機の制御によって、風力発電機と電力系統側発電機とを含む風車発電システム全体として出力される出力の変動を抑制できる。

【0018】

【発明の効果】本発明によって、第1の時刻での測定点の風ベクトルを測定し、第2の時刻での風車に届くこの風ベクトルを予測することにより、第2の時刻での風車

から出力される電力値を予想できるようになる。この予想された出力値にもとづき、電力系統側発電機の出力電力を制御することにより、風ベクトルの変動によって起こる風車発電システムからの出力変動を抑制することができるようになる。幅広い継続時間の風車出力の変動予測をもとに、省エネルギーに逆行する放電抵抗や有限寿命のバッテリーを用いなくて、電力系統側発電機の制御のみで電力系統の出力の変動を抑制し、出力安定化を実現できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る風車発電の出力変動抑制装置と風車発電システムとを示した図である。

【図2】本発明に係るドップラーレーダの風ベクトルを測定する原理を表す図である。

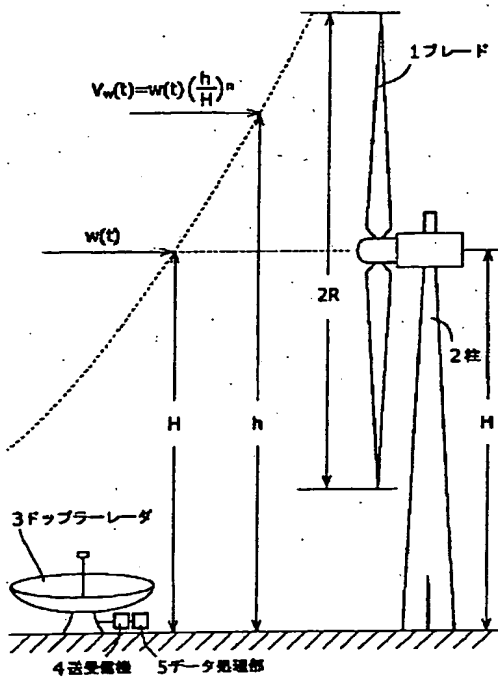
【図3】本発明に係るドップラーレーダの風ベクトルを

測定する原理を表す図である。

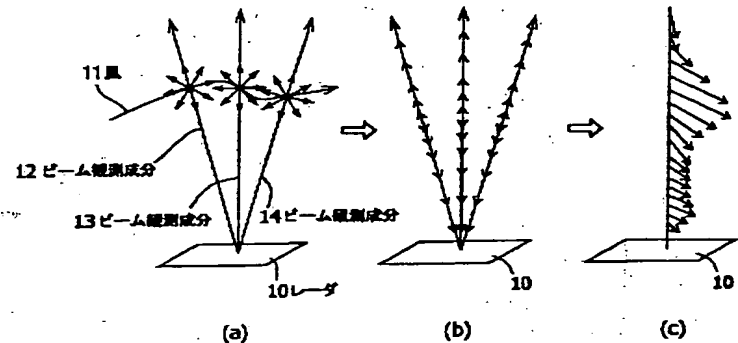
【符号の説明】

- 1 ブレード
- 2 柱
- 3 ドップラーレーダ
- 4 送受信機
- 5 データ処理部
- 10 ドップラーレーダ
- 11 風
- 12 ビーム観測成分
- 13 ビーム観測成分
- 14 ビーム観測成分
- 20 送信パルス
- 21 受信エコー
- 22 時間軸

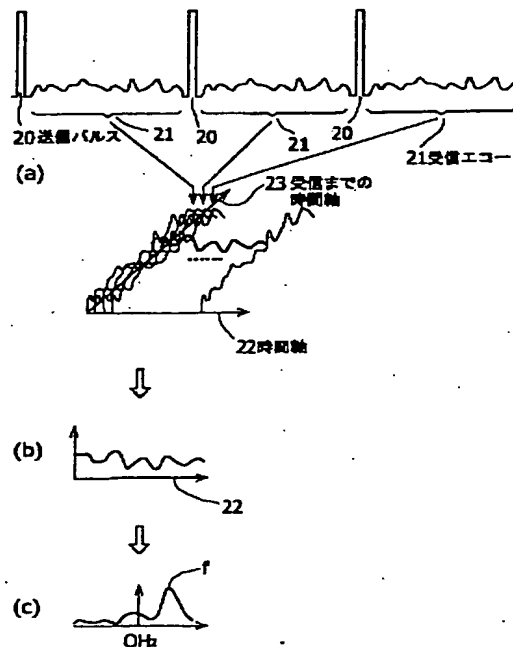
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3H078 AA02 AA26 BB04 CC02 CC22  
CC47 CC52 CC73  
5G066 HA08 HB02 HB20  
5H590 AA01 AA02 AA15 BB07 BB09  
CA14 CE01 CE02 EB04 HA12